



USAID | **MÉXICO**
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE AHORRO DE ENERGÍA EN EL SECTOR HOTELERO DEL DISTRITO FEDERAL POR LA IMPLEMENTACIÓN DE CALENTADORES SOLARES DE AGUA

USAID/MEXICO COMPETITIVENESS PROGRAM

Contract: EEM-I-00-07-00004-00

September/15/2010

This report has been produced by Abt Associates Inc. for the United States Agency for International Development.

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE AHORRO DE ENERGÍA EN EL SECTOR HOTELERO DEL DISTRITO FEDERAL POR LA IMPLEMENTACIÓN DE CALENTADORES SOLARES DE AGUA

USAID/MEXICO COMPETITIVENESS PROGRAM

IVÁN GALILEO MARTÍNEZ CIENFUEGOS

DISCLAIMER

The author's views expressed in this publication do not necessarily reflect the views of the United States Agency for International Development or the United States Government.

Contract: EEM-I-00-07-00004-00

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCTION	1
SUMMARY OF ACCOMPLISHMENTS	4
CONCLUSION.....	21

INTRODUCTION

La Dirección del Programa de Cambio Climático y Proyectos MDL de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, tiene entre sus atribuciones promover el uso de energías renovables en la Ciudad de México, de tal forma que el objetivo general del Plan de Acción Climática de la Ciudad de México es integrar, coordinar e impulsar acciones públicas en el Distrito Federal para disminuir los riesgos ambientales, sociales y económicos derivados del cambio climático y promover el bienestar de la población mediante la reducción de emisiones y la captura de gases de efecto invernadero.

En este contexto se planteó el Programa de Energías Renovables para el Distrito Federal, cuyo objetivo general es promover el uso masivo de las energías renovables, en particular la energía solar y el aprovechamiento de los residuos a través de iniciativas, tanto públicas como privadas, con el fin de reducir emisiones de gases de efecto invernadero, así como de contaminantes locales.

Uno de los objetivos específicos es el de realizar proyectos de fomento al uso de tecnologías para el calentamiento solar de agua, en sectores clave de la Ciudad de México, por ejemplo el sector hotelero, de tal forma que se faciliten mecanismos de financiamiento que les permitan realizar inversiones en estas tecnologías. Así mismo se requiere asegurar y evaluar la aplicación de la Norma para el Aprovechamiento de Energía Solar del D.F.

Es así como se ha planteado la meta de promover la instalación de colectores solares para el calentamiento de agua por acciones en los sectores vivienda, hotelero y deportivo; por medio de proyectos financiados por parte de los interesados, las empresas solares e incentivos gubernamentales; de tal forma que se siga una estrategia bien fundamentada, clara y viable de aplicación en el corto plazo.

Para llegar al planteamiento de dicha estrategia y de acuerdo con el documento de “Necesidades de Apoyo para el Programa de Energías Renovables en el D.F.” se requieren desarrollar los siguientes pasos:

1. Evaluación del potencial de ahorro de energía en el sector hotelero por la implementación de calentadores solares de agua.
2. Evaluación del potencial de aplicación de un programa de este tipo, considerando barreras técnicas, económicas, sociales, etc.
3. Identificación de los actores que podrían participar en el proyecto.
4. Elaboración de una estrategia de trabajo con los actores involucrados y definición de responsabilidades de cada actor.
5. Planeación de la Estrategia para llevar a cabo todo el proyecto

En el presente informe, que es de carácter parcial, se describe paso a paso el desarrollo del punto I de tal forma que se llega a establecer un potencial de ahorro de energía del sector hotelero en concordancia con lo establecido en la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-008-AMBT-2005 que establece las especificaciones técnicas para el aprovechamiento de la energía solar en el calentamiento de agua en albercas, fosas de clavados, regaderas, lavamanos, usos de cocina, lavandería y tintorería.

Con respecto a la evaluación del recurso solar en el Distrito Federal se utiliza una herramienta de cálculo elaborada por el Instituto de Ingeniería de la UNAM en colaboración con la empresa Solartronic, se trata del software público RAD-II que se basa en la publicación “Irradiaciones global, directa y difusa en superficies horizontales e inclinadas, así como irradiación directa normal en la República Mexicana” de la Serie de Investigación y Desarrollo SID-646 (2005) perteneciente al mismo instituto de investigación.

Para ello se requiere de la ubicación geográfica de un sitio en particular, por lo que se utilizó como referencia para cada Delegación política del Distrito Federal los datos de latitud y longitud de cada una de las Jefaturas Delegacionales; dichos datos se obtuvieron del software libre “Google Earth”.

Con respecto a los datos del sector hotelero en el Distrito Federal, se ha recurrido a información disponible por la Secretaría de Turismo (<http://datatur.sectur.gob.mx/>) con base en información generada a través del Sistema Nacional de Información Turística (SNIT) y Sistemas de Información Turística Estatales (SITE); en este caso para el Distrito Federal de forma mensual en el periodo de 2000 a 2008.

Otra fuente de información utilizada son los datos del servicio meteorológico nacional, del que se obtienen los datos de temperatura diaria promedio mensual y de humedad relativa en el Distrito Federal, para de esta forma calcular, a partir de modelos heurísticos, la temperatura de bulbo húmedo correspondiente, que se considera como la temperatura del agua antes del calentamiento con el equipo solar.

Con el fin de llevar a cabo el cálculo de un tiempo de recuperación de la inversión se requiere conocer cuánto combustible se deja de consumir por el uso de calentadores solares de agua, de tal forma que es necesario conocer las características de poder calorífico inferior y densidad de los posibles combustibles usados en el sector hotelero para el calentamiento de agua, estos pueden ser: gas natural, gas licuado de petróleo, diesel y combustóleo, este último se incluye únicamente como referencia, ya que ha dejado de usarse por problemas de contaminación.

La fuente de información más utilizada para las características antes mencionadas son el Balance Nacional de Energía 2008, la Prospectiva de Gas Natural 2008-2017 y la Prospectiva de Gas LP 2008-2017 emitidos por la Secretaría de Energía; así mismo, se utiliza el informe de precios de petrolíferos emitido por Pemex y los precios de gas natural emitidos por la Comisión Reguladora de Energía y la empresa Gas Natural de México.

En este documento se presenta la metodología, resultados y análisis de la evaluación del potencial de ahorro de energía en el sector hotelero del Distrito Federal por la implementación de calentadores solares de agua. Esto como parte de la “Estrategia para implementar un

proyecto de calentamiento solar de agua en el sector hotelero” que sigue la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.

Lo anterior surge a partir del Programa de Energías Renovables del Distrito Federal, de cuyo objetivo general se deriva el objetivo específico de realizar proyectos de fomento al uso de tecnologías para el calentamiento solar de agua, en sectores clave de la Ciudad de México, como es el sector hotelero.

Como primer paso se plantea la necesidad de llevar a cabo una evaluación del potencial de ahorro de energía en el sector hotelero por la implementación de calentadores solares de agua. De tal forma que si el resultado es atractivo se continúa con etapas posteriores para hacer realidad este planteamiento. Como consecuencia principal se esperaría un efecto multiplicador en el uso de estas tecnologías.

Para el desarrollo de los cálculos que se presentan en el documento hubo necesidad de establecer valores fijos y con base en referencias y bibliografía confiable se asumieron como verdaderos algunos de ellos. Es así como se llega a establecer como resultado final una lista de variables que nos pueden dar indicio de la factibilidad de implementación de un proyecto de este tipo. Las variables finales calculadas son:

- Cantidad de energía solar disponible.
- Cantidad potencial de agua caliente requerida diariamente
- Cantidad potencial de energía requerida diariamente
- Superficie de CSA para satisfacer la demanda de varios escenarios
- Cantidad de CO₂ equivalente mitigado en todo el año
- Valor presente de la inversión del sistema de calentamiento solar de agua
- Tiempo simple de recuperación de la inversión

Los resultados presentados tienen un sustento en los Anexos que se encuentran al final del documento, así como en las referencias utilizadas. En particular se concluye que hay potencial para continuar con el proyecto y desarrollar las etapas que se describen más adelante.

SUMMARY OF ACCOMPLISHMENTS

La cuantificación del recurso solar en cada una de las delegaciones políticas del Distrito Federal se basó en el modelo para cálculo de irradiación solar global horizontal con valores diarios promedio mensual desarrollado por Almanza y Cajigal (2005), el cual emplea varias correlaciones analíticas que se obtienen de datos proporcionados por estaciones meteorológicas en tierra de 57 localidades distribuidas en el territorio nacional, incluido el Distrito Federal con estaciones localizadas en Tacubaya y el Aeropuerto.

Para conocer la certidumbre de los datos relacionados con el recurso solar, se puede establecer una correlación con resultados obtenidos previamente (Almanza et al, 1992), de tal forma que se establece la posibilidad de que la incertidumbre de los datos calculados sea menor o igual a 15 %. Éstos se pueden corroborar con los modelos desarrollados por Renné et al (2000), que se basan en imágenes de satélite con estadísticas de ocho años. De tal forma que existe congruencia con dicha información. Sin embargo, en regiones montañosas y costeras se presentan fuertes cambios climáticos para distancias cortas, lo que hace que la validez de los datos interpolados sea cuestionable.

Sin embargo, para el Distrito Federal se tiene gran certidumbre para la mayor parte del territorio, excepto para las regiones montañosas de las delegaciones Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Magdalena Contreras y la parte sur de Tlalpan.

Los datos de radiación solar sobre una superficie horizontal que se usan en esta evaluación fueron calculados con el modelo antes descrito que se basa en datos meteorológicos para los años de 1941 a 1980 proporcionados por el SMN (Normales Climatológicas, 1976; comunicación personal, 1990), y siguiendo la metodología, aunque con algunos cambios, contenida en el trabajo publicado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM (Almanza et al, 1992) y que fue validada con datos medidos en Ciudad Universitaria, UNAM (Velázquez et al, 1988). De tal forma que el resultado es suficiente para aplicaciones de diseño, ubicación y análisis de desempeño de equipos y sistemas solares para calentamiento de agua.

Es importante mencionar que los datos de irradiación empleados para esta evaluación corresponden a dos opciones con fines comparativos, por un lado a una superficie horizontal, y por otro a una superficie inclinada con un ángulo igual a la latitud del lugar, que es la forma en que típicamente se instala un captador de radiación solar. De tal forma que los resultados obtenidos podrían plantearse como las cotas inferior y superior de un intervalo confiable.

Para saber la cantidad de energía que puede ser aprovechada por un sistema de calentamiento solar de agua, se puede emplear la metodología presentada por Duffie y Beckman (2006), de tal forma que primero se calcula la duración del día solar en un día patrón de cada mes, para posteriormente obtener la cantidad de irradiación útil que podría calentar el fluido que circula dentro del captador de radiación solar. Con esto se tiene cuantificado el recurso solar disponible mensualmente.

Por otro lado se requiere calcular la cantidad de calor necesario para satisfacer la demanda de agua caliente en los hoteles de la ciudad de México, para ello se utilizaron las variables: número de cuartos disponibles en hoteles turísticos (figura 1), densidad de ocupación (número de huéspedes por cuarto, figura 2), y la fracción de ocupación (figura 3); se menciona un dato extra, que es el de estadia promedio (figura 4) pero que sólo sirve de referencia y nos da información de cómo ha disminuido a conforme pasan los años. Con estos datos se calcula el número de huéspedes potenciales y el número de huéspedes reales.

Figura 1: gráfica que muestra la cantidad de cuartos disponible promedio en la Ciudad de México.

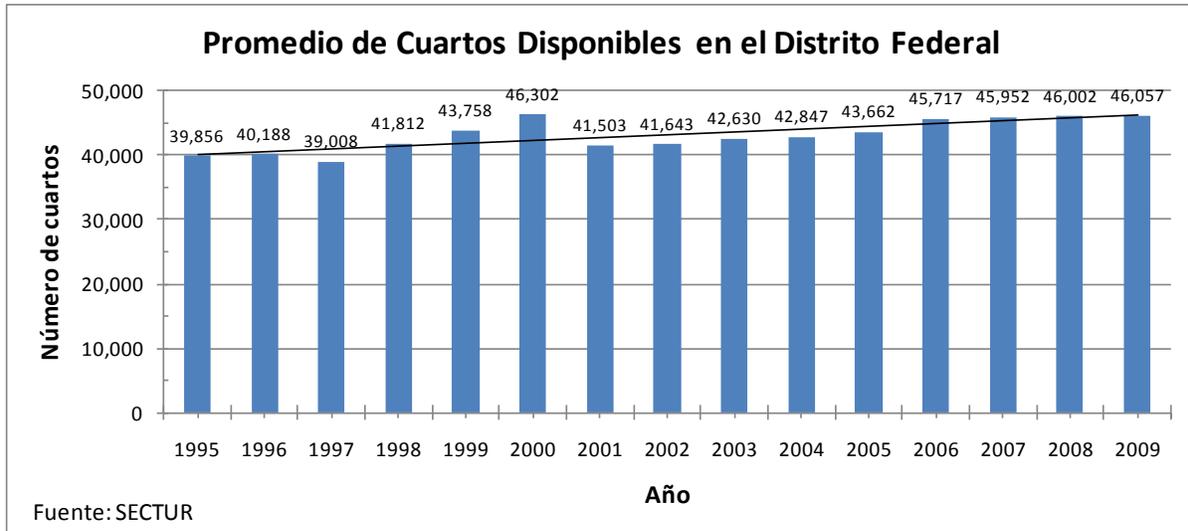


Figura 2: gráfica que muestra la densidad promedio de ocupación por habitación en la Ciudad de México (Fuente: SECTUR)

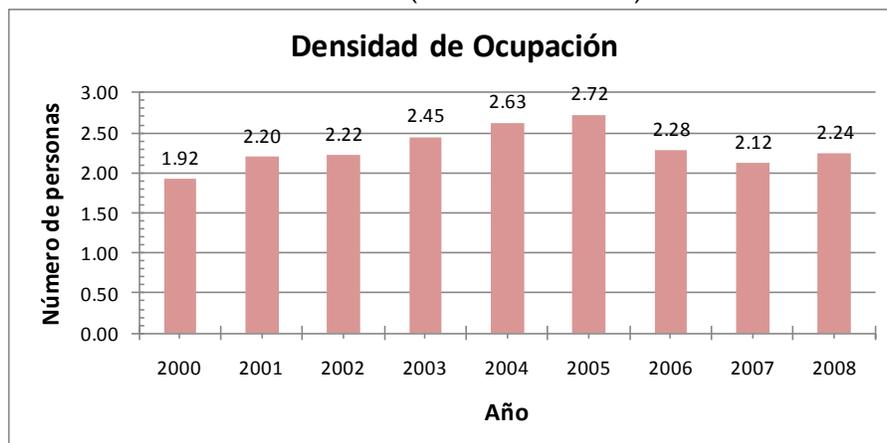


Figura 3: gráfica que muestra la fracción de cuartos ocupados promedio a lo largo del año en la Ciudad de México (Fuente: SECTUR).

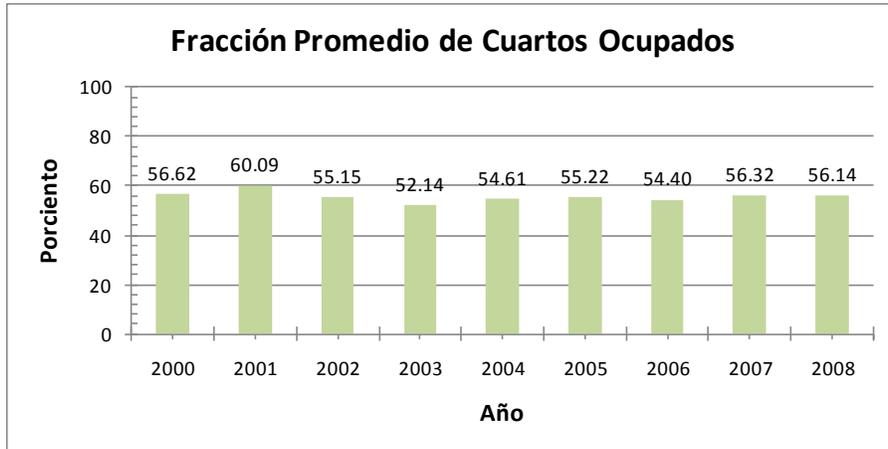
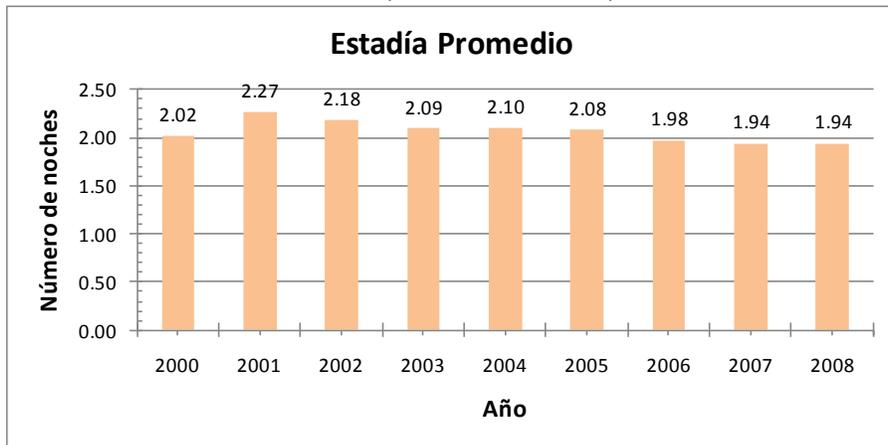


Figura 4: gráfica que muestra el número de noches promedio por habitación en la Ciudad de México (Fuente: SECTUR).



Con fines comparativos se requiere el planteamiento de varios escenarios de abastecimiento de energía térmica con energía solar, estos son: 30%, 50%, 75% y 100% del total de la energía requerida al año, para de esta manera establecer un valor mínimo y un máximo como potencial de sustitución de combustibles. Adicionalmente, se plantea un comparativo de factores de emisión de GEIs propios y los establecidos por el IPCC en 2006.

Así mismo, se identificó la necesidad de calcular un tiempo de retorno de la inversión, el cual estará en función del precio de los combustibles y del costo de los equipos termosolares que pueden llegar a utilizarse.

Es necesario acotar las condiciones bajo estas proposiciones que pueden considerarse reales con el fin de obtener valores factibles de alcanzar en el corto plazo, por lo que en un momento que se tengan datos actualizados pueden modificarse de forma fácil y así obtener estimaciones mucho más apegadas a la realidad. Para el Distrito Federal se esperarían datos actualizados para los años 2009 y 2010.

Resultados y Análisis

El uso de los datos solicitados e investigados se da paso a paso en diferentes rubros, cuyo objetivo final es establecer la repercusión que se tendría en la mitigación de GEIs emitidos a la atmósfera, así como el impacto financiero por medio del cálculo del tiempo de recuperación de la inversión. Es así como a continuación se describe los más explícito y conciso posible la metodología empleada.

Resultados geográficos y meteorológicos

De acuerdo con el software “Google Earth” antes mencionado, se determinaron los puntos de localización de latitud, longitud y altitud sobre el nivel del mar de cada jefatura delegacional (tabla I), datos que servirán para calcular la irradiación diaria promedio mensual global horizontal e inclinada por medio del software RAD-II.

Adicionalmente, se requiere calcular la presión atmosférica en función de la altura sobre el nivel del mar para posteriormente utilizar este dato en el cálculo de la temperatura de bulbo húmedo, es así como se utilizó la ecuación altimétrica que se obtiene a partir de la ecuación de gas ideal, cuya expresión final es la siguiente:

$$P = P_o e^{-z/8000}$$

Donde: P_o – 1.01325 bar (presión a nivel del mar)

P – presión en bar a una altura z sobre el nivel del mar

z – altura en metros sobre el nivel del mar

Tabla I: Ubicación de cada jefatura delegacional en el Distrito Federal.

Delegación	Latitud [°]	Longitud [°]	Altitud [msnm]	Presión tipo [bar]
Álvaro Obregón	19.389483	-99.196055	2312	0.76
Azcapotzalco	19.483778	-99.184551	2249	0.76
Benito Juárez	19.371576	-99.158005	2251	0.76
Coyoacán	19.350022	-99.162372	2253	0.76
Cuajimalpa	19.357471	-99.299254	2777	0.72
Cauhtémoc	19.441284	-99.152045	2233	0.77
Gustavo A. Madero	19.483072	-99.113718	2238	0.77
Iztacalco	19.391754	-99.08758	2238	0.77
Iztapalapa	19.359211	-99.092582	2247	0.77
Magdalena Contreras	19.304941	-99.241416	2515	0.74
Miguel Hidalgo	19.407571	-99.19114	2270	0.76
Milpa Alta	19.191502	-99.023427	2433	0.75
Venustiano Carranza	19.419170	-99.113064	2230	0.77
Tláhuac	19.270346	-99.004941	2242	0.77

Tlalpan	19.288416	-99.16708	2283	0.76
Xochimilco	19.257259	-99.109127	2248	0.77

Al correr el software de irradiación con los datos de la tabla 1, se observa que para el Distrito Federal existen tres zonas de irradiación distintas, cuya variación entre los valores de una zona a otra son menores al 5% en algunos casos.

En la Tabla 2 se muestran las delegaciones que pertenecen a cada zona, mientras que en las tablas 3 y 4 se establecen los valores de irradiación global horizontal y global inclinada calculados para cada zona.

Tabla 2: Zonas de irradiación solar en el DF.

Zona 1	Zona 2	Zona 3
Álvaro Obregón	Coyoacán	Milpa Alta
Azcapotzalco	Iztapalapa	Tlahuac
Benito Juárez	Magdalena Contreras	---
Cuajimalpa	Tlalpan	---
Cuauhtémoc	Xochimilco	---
Gustavo A. Madero	---	---
Iztacalco	---	---
Miguel Hidalgo	---	---
Venustiano Carranza	---	---

Tabla 3: Valores de irradiación global horizontal diaria promedio mensual en el DF.

Mes del año	Irradiación Global Horizontal [MJ/m ²]		
	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Enero	15.9860	15.8638	16.3645
Febrero	18.4507	18.3636	18.3185
Marzo	20.4576	20.3058	20.4259
Abril	20.6565	20.4201	20.8926
Mayo	20.5307	20.1080	20.7392
Junio	18.9578	18.6573	19.4802
Julio	18.3488	17.9222	18.8611
Agosto	18.1984	17.7950	18.5462
Septiembre	17.6109	17.1862	18.2321
Octubre	16.3159	16.0618	16.8743
Noviembre	15.4164	15.2652	16.0023
Diciembre	13.9044	13.8300	14.6551
Promedio	17.9028	17.6483	18.2827

Es importante mencionar que los valores expresados en la tabla 4, corresponden a una superficie inclinada con un ángulo igual a la latitud del sitio en evaluación, de tal manera que si el equipo de calentamiento solar de agua está bien instalado, entonces corresponderían a las condiciones de irradiación que se tendrían en la operación diaria.

Tabla 4: Valores de irradiación global inclinada diaria promedio mensual en el DF.

Mes del año	Irradiación Global Inclinada [MJ/m ²]		
	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Enero	18.9024	18.6649	19.3778
Febrero	20.7849	20.6158	20.5536
Marzo	21.4228	21.2313	21.3688
Abril	20.2577	20.0312	20.4955
Mayo	19.2388	18.8685	19.4600
Junio	17.4626	17.2206	17.8980
Julio	17.0934	16.7336	17.5375
Agosto	17.4988	17.1255	17.8243
Septiembre	17.7522	17.2954	18.3996
Octubre	17.5233	17.1837	18.1326
Noviembre	17.7997	17.5240	18.5362
Diciembre	16.4362	16.2566	17.4031
Promedio	18.5144	18.2293	18.9156

Cabe mencionar que como la mayoría de delegaciones políticas está en la zona 1, el resto de los cálculos se desarrolla con los datos de dicha zona.

Una vez que se cuenta con la evaluación del recurso solar se requiere saber cuánta de esta energía es accesible para su uso en el calentamiento de agua, por lo que siguiendo el método de Duffie y Beckman (2006) se requiere definir un día tipo para cada mes expresado según el calendario juliano, se calcula la declinación del sol mediante el ángulo delta y así se puede llegar a la duración en horas del día tipo de cada mes. Posteriormente se establece que el 90% del día corresponde al tiempo efectivo para calentamiento solar, cuyos resultados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5: Resultados del cálculo de tiempo efectivo solar.

Mes	Días mes [#]	Día juliano tipo [#]	Declinación delta [°]	Duración del día [h/d]	Tiempo efectivo [h/d]
Enero	31	17	-20.92	10.97	8.8
Febrero	28	47	-12.95	11.38	9.1
Marzo	31	75	-2.42	11.89	9.5
Abril	30	105	9.41	12.45	10.0
Mayo	31	135	18.79	12.92	10.3
Junio	30	162	23.09	13.15	10.5

Julio	31	198	21.18	13.05	10.4
Agosto	31	228	13.45	12.64	10.1
Septiembre	30	258	2.22	12.10	9.7
Octubre	31	288	-9.60	11.54	9.2
Noviembre	30	318	-18.91	11.08	8.9
Diciembre	31	344	-23.05	10.85	8.7
Promedios =			12.00	9.6	

Utilizando los valores de irradiación global de la zona I (tanto horizontal como inclinada), se tiene que esa cantidad de energía sería la disponible desde el amanecer hasta el ocaso, por lo que es aquí donde se toma en cuenta el tiempo efectivo, ya que se considera que en la primer y última hora de insolación no se tiene un aprovechamiento real de la radiación solar. La tabla 6 muestra los datos de irradiación correspondientes a la zona I, estableciendo el concepto de irradiación global efectiva la cual servirá para los siguientes cálculos.

Tabla 6: Valores de la irradiación diaria promedio mensual correspondiente a la zona I.

Mes	Irradiación global horizontal		Irradiación global inclinada	
	Total	Efectiva	Total	Efectiva
	[MJ/m ² d]	[MJ/m ² d]	[MJ/m ² d]	[MJ/m ² d]
Enero	15.9860	14.3874	18.9024	17.0122
Febrero	18.4507	16.6056	20.7849	18.7064
Marzo	20.4576	18.4118	21.4228	19.2805
Abril	20.6565	18.5909	20.2577	18.2319
Mayo	20.5307	18.4776	19.2388	17.3149
Junio	18.9578	17.0620	17.4626	15.7163
Julio	18.3488	16.5139	17.0934	15.3841
Agosto	18.1984	16.3786	17.4988	15.7489
Septiembre	17.6109	15.8498	17.7522	15.9770
Octubre	16.3159	14.6843	17.5233	15.7710
Noviembre	15.4164	13.8748	17.7997	16.0197
Diciembre	13.9044	12.5140	16.4362	14.7926
Promedios =	17.9028	16.1126	18.5144	16.6630

Resultados referentes a demanda de energía térmica

Una vez que se tienen los valores diarios promedio mensuales para la irradiación global horizontal e inclinada, se requiere saber la demanda de energía para el sector hotelero en la Ciudad de México. Para ello se recurre a los datos antes mencionados generados por la Secretaría de Turismo federal, así como a las siguientes condiciones de operación:

- a) Factores aplicados a hoteles según la norma ambiental NADF-008-AMBT-2005 y Pilatowsky (2007).

Dotación de agua potable = 300 L/huesp-día
 Fracción de agua caliente = 0.30
 Cantidad de agua caliente = 90 L/huesp-día
 Factor de calentamiento con sol = 0.30, 0.50, 0.75 y 1

El factor de calentamiento con sol se refiere a la proporción de energía anual requerida para agua caliente en regaderas de un hotel tipo turístico, para el cual se plantean cuatro escenarios diferentes que se asumen con un comportamiento lineal, aunque con pendiente diferente de uno. Para ello se comienza con el escenario planteado por la norma ambiental NADF-008-AMBT-2005, que establece un mínimo de 30% para instalaciones nuevas o modificadas.

- b) Condiciones del agua a calentar, utilizando lo planteado por el método de cálculo de Verma (2003).

$$T_{sal} = 60 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ Temperatura de salida del sistema de calentamiento solar}$$

Solamente la temperatura de salida del sistema de CSA se considera constante, mientras que la temperatura de agua de entrada al sistema CSA (T_{ent}) se asume como la temperatura de bulbo húmedo diaria promedio mensual en el Distrito Federal, que al no estar disponible de forma directa se calcula a partir de datos de temperatura ambiente del Servicio Meteorológico Nacional y de datos de humedad relativa del Observatorio meteorológico del Colegio de Geografía de la UNAM, ambos para el año 2008 (ver Anexo II).

Con el fin de desarrollar un cálculo más preciso se utilizó el modelo de Verma (2003), mediante una macro en la hoja de cálculo MS Excel™, para calcular el valor de la capacidad calorífica a presión constante (C_p) y la densidad (ρ) del agua a las condiciones de temperatura de bulbo húmedo, como valores diarios promedios mensuales para el año 2008. De esta forma coinciden en tiempo los datos de ocupación hotelera y meteorología.

Como primera parte se procede al cálculo del total de agua caliente requerida, siguiendo las recomendaciones de Pilatowsky (2007) sobre el consumo de agua caliente por huésped al día en un hotel turístico. Este cálculo se plantea tomando en cuenta únicamente la densidad de ocupación promedio mensual, cuyo valor se asume como el 100% de la demanda (Tabla 7).

Es importante aclarar que el número anterior no es igual a establecer una ocupación tomando en cuenta la estadía promedio, ni una diferenciación entre categorías de hoteles. Es decir, que se usa el dato de número promedio de personas en cada habitación sin importar el tiempo que permanecieron en ella ni el tipo de hotel turístico y por tanto, no se toma en cuenta la fracción de aforo de la infraestructura a lo largo del año.

Tabla 7: Cantidad de agua caliente requerida al día en promedio de cada mes del año en hoteles del DF.

Mes	Cuartos disponibles	Densidad de ocupación	Cantidad de huéspedes	Cantidad de agua caliente
	[#]	[hue/cuar-d]	[hue/d]	[L/d]

Enero	45,924	2.08	95,522	8,596,973
Febrero	45,924	2.24	102,870	9,258,278
Marzo	45,924	2.10	96,440	8,679,636
Abril	45,924	2.25	103,329	9,299,610
Mayo	45,924	2.03	93,226	8,390,315
Junio	45,942	1.94	89,127	8,021,473
Julio	45,972	2.03	93,323	8,399,084
Agosto	45,972	2.68	123,205	11,088,446
Septiembre	45,963	2.52	115,827	10,424,408
Octubre	45,963	2.34	107,553	9,679,808
Noviembre	46,002	2.34	107,645	9,688,021
Diciembre	46,002	2.33	107,185	9,646,619

*hue: huéspedes

Una vez que se cuenta con los datos de demanda de agua caliente y las variables termodinámicas para el agua como fluido de trabajo, se procede a calcular la energía diaria requerida para el aumento de temperatura por cada mes del año y los diferentes escenarios de abastecimiento de dicha agua, los que van desde el 30% al 100%.

La ecuación de balance de energía utilizada para ello es la siguiente:

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{sal} - T_{ent})$$

Donde: Q – cantidad de energía en forma de calor [MJ]

– flujo másico de agua a calentar [kg/s]

C_p – capacidad calorífica del agua a presión constante [MJ/kg°C]

T_{sol} – temperatura del agua a la salida del calentador solar [°C]

T_{ent} – temperatura del agua a la entrada del calentador solar [°C].

El resultado final de la aplicación de esta ecuación se expone en la tabla 8, que para fines de cálculo la cantidad de energía se expresa en MJ al día con el fin de calcular posteriormente el área requerida de CSA necesaria para satisfacer el aprovisionamiento de dicha energía y así satisfacer la demanda de agua caliente diariamente.

Tabla 8: Cantidad de energía requerida al día bajo diferentes escenarios de abastecimiento con energía solar.

Mes	Cantidad de energía requerida [MJ/día]			
	Al 30%	Al 50%	Al 75%	Al 100%
Enero	545,472	909,121	1,363,681	1,818,241
Febrero	574,684	957,807	1,436,711	1,915,614
Marzo	544,816	908,026	1,362,039	1,816,052
Abril	551,779	919,632	1,379,448	1,839,264
Mayo	494,705	824,509	1,236,764	1,649,018

Junio	468,053	780,089	1,170,133	1,560,177
Julio	495,366	825,611	1,238,416	1,651,221
Agosto	637,721	1,062,868	1,594,302	2,125,737
Septiembre	602,145	1,003,575	1,505,362	2,007,149
Octubre	592,877	988,129	1,482,193	1,976,258
Noviembre	613,558	1,022,597	1,533,895	2,045,194
Diciembre	619,181	1,031,969	1,547,953	2,063,937
Promedio	561,697	936,161	1,404,241	1,872,322
Valor min	468,053	780,089	1,170,133	1,560,177
Valor max	637,721	1,062,868	1,594,302	2,125,737

Una vez que se tiene la cantidad de energía requerida para el calentamiento de agua en hoteles tomando en cuenta las restricciones antes mencionadas, se procede a calcular el área de calentadores solares de agua necesaria para satisfacer dicha demanda.

Adicionalmente se plantea la tabla 9, que muestra en forma resumida los resultados de cantidad de agua caliente requerida cada mes y su equivalente en cantidad de energía, de tal forma que se al sumar estos valores se tiene el total anual para cada parámetro del total de cuartos existentes en este sector para el Distrito Federal.

Tabla 9: Cantidad total de agua caliente y energía requerida por todo el sector hotelero.

Mes	Días al mes [#]	Cantidad de agua caliente [m ³ /mes]	Cantidad de energía [MJ/mes]
Enero	31	266,506	56,365,475
Febrero	28	259,232	53,637,201
Marzo	31	269,069	56,297,624
Abril	30	278,988	55,177,929
Mayo	31	260,100	51,119,563
Junio	30	240,644	46,805,319
Julio	31	260,372	51,187,863
Agosto	31	343,742	65,897,832
Septiembre	30	312,732	60,214,483
Octubre	31	300,074	61,263,985
Noviembre	30	290,641	61,355,806
Diciembre	31	299,045	63,982,061
TOTAL ANUAL		3,381,145 [m ³ /año]	683,305,141 [MJ/año]

Resultados sobre calentadores solares de agua y combustible sustituido

Posteriormente se procede al cálculo del área de colectores solares necesaria para satisfacer la cantidad de energía expresada en las tablas 8 y 9. Para ello se requiere utilizar el concepto de

eficiencia térmica de un colector solar, cuyo valor no es constante y depende entre otras variables de la irradiancia solar, de la temperatura ambiente y de la temperatura de salida del fluido. Sin embargo, para fines de un cálculo práctico se establecen valores de eficiencia fijos tomando en cuenta una Irradiancia de 700 W/m², temperatura de entrada de 15 °C y salida de 60°C, números que serían típicos del Distrito Federal durante una parte del año. La tabla 10 muestra los valores de eficiencia para dichas condiciones.

Tabla 10: Eficiencia térmica instantánea para colectores solares.

Tipo de tecnología termosolar	Eficiencia térmica @ 60 °C
Colector Solar Plano	0.46
Colector tubos evacuados	0.53
Caloriducto	0.60
Concentrador parábola compuesta	0.65

Adicionalmente se deberá considerar que dicha eficiencia térmica va muy de la mano con el tamaño de la instalación, así como de dar por hecho que se cuenta con un buen sistema de aislamiento térmico para tuberías y tanques de almacenamiento. Para fines de cálculo se escoge la eficiencia del caloriducto, tecnología que resulta más eficaz para este tipo de aplicaciones y del cual se cuenta con datos reales de dimensiones, precio, área de apertura por panel, etc.

Con el valor de eficiencia térmica para cada caso de demanda energética, se procede a calcular la cantidad de área requerida por escenario de abastecimiento energético solar. Dicho valor se obtiene a partir de la demanda diaria de energía, ya que la infraestructura solar abastecerá la energía necesaria durante el día, mientras que para la noche se requerirá de un sobredimensionamiento que dependerá del termotanque de almacenamiento disponible, este cálculo no está incluido.

Una vez que se ha calculado el área requerida para cada mes, se selecciona el valor mínimo, que en los cuatro casos corresponde al mes de marzo ya que presenta la irradiación más alta del año y demanda media de agua. Con dicha área, ahora considerada constante respectivamente para cada caso, se procede a calcular la cantidad de energía que puede suministrar en cada mes, a lo que se le llamó cantidad de energía térmica ahorrada mensual, cuya suma da el total anual ahorrado en cada escenario.

Es importante tener claro que dicha área no satisface el total propuesto de abastecimiento de energía térmica con energía solar, por lo que se considera como un ahorro mínimo, lo cual está representado en la gráfica de la figura 5. Donde la línea roja representa el área requerida para satisfacer el porcentaje propuesto de energía térmica a partir de energía solar, tomando los valores de área promedios anuales según el escenario de abastecimiento energético que se estudie, es decir que para los meses de invierno el área calculada no alcanzará a satisfacer la demanda prevista y en verano se cubrirá en forma excedente; y la línea azul representa el porcentaje cubierto real empleando el área mínima, la cual sólo satisface el total propuesto para el mes de marzo, el resto de los meses la oferta estará por abajo del valor propuesto.

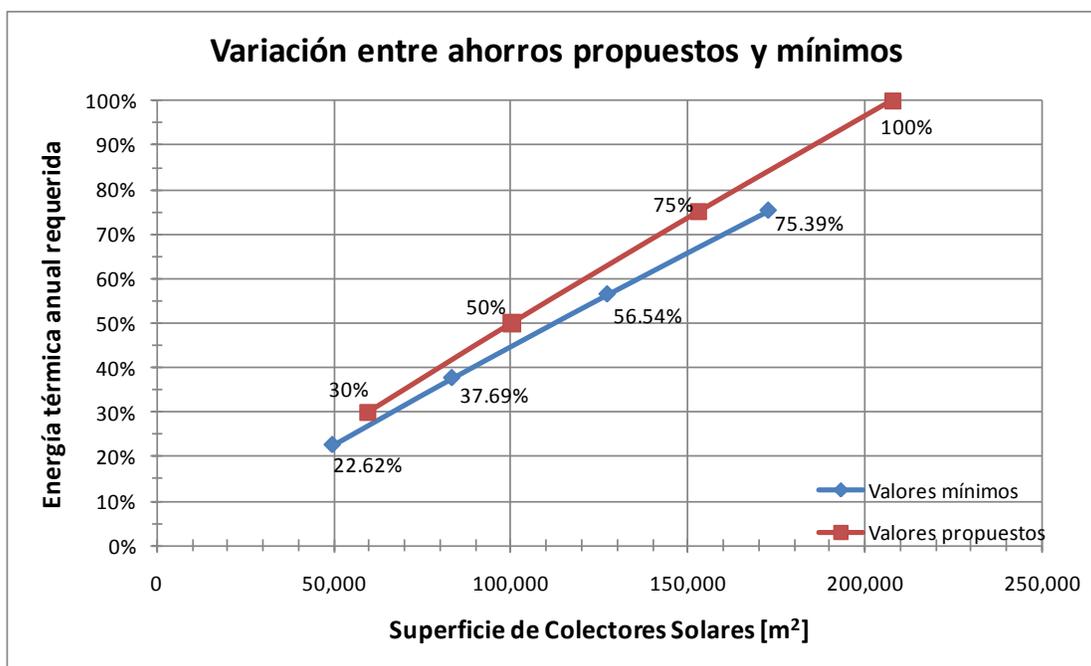


Figura 5: gráfica que muestra la desviación por instalación del área mínima requerida.

La tabla II muestra el resumen de los resultados, es decir el área mínima requerida, la fracción de energía que esta área satisface con respecto al total del sector y el valor en MJ al año de dicha cantidad de energía.

Cabe mencionar que las variaciones mensuales (ver tablas anexo IV) se deben a los cambios en la demanda de energía térmica y en la irradiación solar disponible, por lo que es importante verificar cuáles son los valores mínimo, máximo y promedio, de tal forma que sirvan como referencia para posteriormente conocer la inversión requerida con más detalle. Es recomendable utilizar el valor promedio para que la inversión no sea tan alta y el tamaño de la instalación sea el indicado para todo el año.

Tabla II: Resultados del área mínima requerida y energía ahorrada.

Escenario	Energía Térmica propuesta a partir de ES	Eficiencia térmica del SCSA*	Área mínima requerida [m²]	Fracción Energía obtenida a partir de ES	Energía Térmica ahorrada [MJ/año]
1	30%	57.0%	49,574	22.62%	154,536,462
2	50%	56.5%	83,355	37.69%	257,560,770
3	75%	55.5%	127,285	56.54%	386,341,155
4	100%	54.5%	172,828	75.39%	515,121,540

*SCSA: Sistema de Calentamiento Solar de Agua

El siguiente paso es calcular la cantidad de combustible sustituido o que se deja de consumir, dato que servirá para el cálculo de las toneladas equivalentes de dióxido de carbono que se pueden mitigar por la instalación de los sistemas solares de calentamiento de agua y para el cálculo de tiempo de retorno de la inversión.

Para ello se requiere conocer el poder calorífico inferior y la densidad de los combustibles más utilizados, lo cual se expone en la tabla 12 a partir de datos obtenidos del Balance Nacional de

Energía 2008, la Prospectiva del Mercado de Gas LP 2008-2017 y de la Prospectiva del Mercado de Gas Natural 2008-2017, publicados por la Secretaría de Energía, así como por informes de Petróleos Mexicanos. Es importante tomar en cuenta que tanto el PCI como la densidad varían todo el tiempo en intervalos aceptables, por lo que para fines de cálculo es necesario estandarizar dichos valores.

Tabla 12: Poder calorífico inferior de varios combustibles.

Combustible	PCI	Densidad
Gas natural	37.55 [MJ/m ³]*	1.2014 [kg/m ³]*
	31.25 [MJ/kg]	
Gas LP	26.73 [MJ/L]**	0.5400 [kg/L]**
	49.50 [MJ/kg]	
Diesel	38.70 [MJ/kg]	0.8500 [kg/L]
Combustóleo	41.95 [MJ/kg]	0.9820 [kg/L]

*Valores para GN en fase gaseosa a 1 atm y 15°C.

**Valores para GLP en fase líquida a 6 atm y 15°C.

La cantidad de combustible que se requeriría para satisfacer las necesidades de calor establecidas en las tablas 8 y 9 con los diferentes escenarios de uso de la energía solar se puede calcular a partir de los datos de la tabla 12 y de eficiencia térmica mínima de una caldera establecidos en la NOM-012-ENER-1996:

Con GN o GLP = 76.0%

Con Diesel o Gasóleo = 80.0%

Los resultados se muestran en la tabla 13, en la que se exponen valores anuales por caso (tabla 11) a partir de la suma de las cantidades mensuales de calor que se exponen en el anexo III.

Tabla 13: Cantidad de combustible sustituido (combustible sin consumir).

Escenario	GN [m ³ /año]	GLP [kg/año]	Diesel [kg/año]	Combustóleo [kg/año]
1	5,415,754	4,107,484	4,991,396	4,604,743
2	9,026,257	6,845,807	8,318,994	7,674,572
3	13,539,385	10,268,710	12,478,491	11,511,858
4	18,052,514	13,691,613	16,637,988	15,349,145

Resultados sobre gases de efecto invernadero mitigados

Una vez que ha calculado la cantidad de combustible bajo los diferentes escenarios de abastecimiento energético, se procede a calcular la cantidad de gases de efecto invernadero que

emitiría el combustible sustituido en el momento de la combustión. Para ello se toman valores estándar establecidos en la tabla 6.7 “Direct Global Warming Potentials (mass basis) relative to carbon dioxide (for gases for which the lifetimes have been adequately characterised)”, Third Assessment Report “Climate Change 2001: The Scientific Basis” emitido por centro GRID-Arendal colaborador oficial del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), se tienen los siguientes factores de calentamiento global (Global Warming Potential):

$$1 \text{ kg de CH}_4 \approx 23 \text{ kg de CO}_2$$

$$1 \text{ kg de N}_2\text{O} \approx 296 \text{ kg de CO}_2$$

Además, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) publicó: “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2: Energy”, referente a factores de emisión por defecto para la combustión estacionaria en la categoría comercial/institucional, se obtiene los valores expuestos en la tabla 14. Al exponer los tres GEIs principales, se debe hacer un cálculo para cada uno de ellos, que se pueden sumar al convertir cada uno a toneladas equivalentes de dióxido de carbono.

Tabla 14: factores de emisión por defecto, IPCC (2006).

Combustible	Gas de efecto invernadero [kg _{GEI} /TJ _{combustible}]		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Gas natural	56,100	5	0.1
Gas LP	63,100	5	0.1
Diesel oil	74,100	10	0.6
Fuelóleo residual	77,400	10	0.6

La tabla 15 muestra el resultado anual por escenario de abastecimiento energético con energía solar. El desglose de los cálculos por tipo de GEI está expuesto en las tablas del Anexo V, donde se sigue el método nivel I del IPCC.

Tabla 15: Emisiones de GEIs evitadas por tipo de combustible sustituido (método nivel I del IPCC).

Escenario	GN [Ton _{CO2eq} /año]	GLP [Ton _{CO2eq} /año]	Diesel [Ton _{CO2eq} /año]	Combustóleo [Ton _{CO2eq} /año]
1	11,437	12,860	14,393	15,030
2	19,061	21,433	23,988	25,050
3	28,592	32,150	35,982	37,575
4	38,122	42,867	47,976	50,100

Cabe mencionar que la consideración de combustóleo para estos cálculos es de tipo referencial, ya que hoy en día ya no se utiliza como combustible para calderas, sin embargo se considera que el conocer las emisiones mitigadas por el no uso de este combustible es importante para saber el impacto que éste tuvo en su momento.

Resultados sobre costos y tiempo de recuperación de la inversión

Una vez que se ha calculado los potenciales de superficie de calentadores solares de agua, cantidad de combustible sustituido y mitigación de gases de efecto invernadero, se hace necesario saber cuánto costaría todo eso. Para ello se tiene en el mercado un portafolio amplio de opciones tecnológicas y marcas comerciales, cada una con ventajas y desventajas propias.

Es por ello que se hace necesario establecer valores medios en cuanto precios de equipos, que se reitera, no son únicos y es factible esperar variaciones según calidad y origen de los mismos. Por lo que de acuerdo con la información de una marca en particular de equipos comerciales se estableció un precio de referencia y un factor de instalación que incluye aislantes, tuberías, conexiones y termotanque. Dichos factores son los siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Precio de referencia} &= \$ 3,671.93 \quad [\text{MXP/m}^2] \\ \text{Factor de instalación} &= 20\% \quad \text{de la inversión} \end{aligned}$$

Adicionalmente se tiene la variable del costo de los combustibles sustituidos, que se sabe cambian mes a mes, por lo que al “tomar una fotografía” al mes de agosto de 2010 se puede establecer un tiempo estimado de retorno de la inversión.

Cabe mencionar que el precio de los combustibles aumenta con mayor frecuencia y cantidad porcentual que el de los equipos solares, por lo que el tiempo aquí calculado se podría considerar como máximo y es muy probable que en la realidad llegue a ser menor.

Tabla 16: precios de los combustibles a septiembre de 2010.

Combustible	Precio	
	general	[MXP/kg]
Gas natural	**13.00 [US\$/GJ]	*\$6.35
Gas LP	9.81 [\$/kg]	\$9.81
Diesel oil	8.88 [\$/L]	\$10.27
Combustóleo	6.87 [\$/L]	\$7.00

*[MXP/m³]

**Tipo de cambio: \$ 13.00 MXP/USD

Como primer paso, se requiere calcular el costo del combustible sustituido anualmente a partir de los datos establecidos en la tabla 13 de cantidad de combustible, el resultado se muestra en la tabla 17.

Tabla 17: Costo del combustible sustituido (combustible sin consumir).

Escenario	GN [MXP/año]	GLP [MXP/año]	Diesel [MXP/año]	Combustóleo [MXP/año]
1	\$ 34,373,545	\$ 40,294,418	\$ 51,241,157	\$ 32,214,447
2	\$ 57,289,242	\$ 67,157,363	\$ 85,401,928	\$ 53,690,745
3	\$ 85,933,863	\$ 100,736,045	\$ 128,102,891	\$ 80,536,118
4	\$ 114,578,484	\$ 134,314,726	\$ 170,803,855	\$ 107,381,490

A partir de los datos de la tabla 17 y los del área requerida planteados en la tabla 11, se puede calcular el valor presente de la inversión requerida para satisfacer los diferentes escenarios de abastecimiento de energía térmica a partir de energía solar. Los resultados se muestran en la tabla 18, aunque es deseable consultar los valores de inversión para una instalación de requerimientos mínimos y otra de requerimientos máximos.

Es importante recalcar que el costo de la inversión depende enteramente de los precios de referencia tomados para el equipo solar, por tanto, dependerá de la oferta que puedan hacer los principales proveedores que existen en el país.

Tabla 18: Valor presente de la inversión requerida en CSA y “tiempo simple” de recuperación de la inversión.

Escenario	Inversión requerida [MXP]	GN [años]	GLP [años]	Diesel [años]	Combustóleo [años]
1	\$ 218,439,739	6.4	5.4	4.3	6.8
2	\$ 367,288,057	6.4	5.5	4.3	6.8
3	\$ 560,858,790	6.5	5.6	4.4	7.0
4	\$ 761,533,036	6.6	5.7	4.5	7.1

Una vez que se cuenta con el costo de la infraestructura solar para los diferentes escenarios y el costo de los combustibles sustituidos, es posible calcular un “tiempo simple” de recuperación de la inversión, dividiendo el valor presente del sistema de calentamiento solar entre el costo anual del combustible, el resultado será el tiempo antes mencionado y que se expone en la tabla 18.

Se estima que si se hace un análisis más exhaustivo tomando en cuenta una tasa de interés, una tasa anual de aumento de precios de los combustibles, la inflación aplicada al precio de los equipos solares, incentivos fiscales y un precio para un equipo en específico, entonces se tendría un tiempo de retorno de la inversión formal. Sin embargo, al no tener certeza del comportamiento futuro de alguna de estas cinco variables, se considera que los cálculos simples realizados no estarían muy alejados del tiempo real.

Propuesta de estrategia de trabajo para implementación de un proyecto masivo

Esta evaluación es una iniciativa que el Gobierno del Distrito Federal plantea como un panorama general de la viabilidad del uso de calentadores solares de agua en el sector hotelero de la ciudad, de tal forma que se puede desarrollar todo un programa que sirva de ejemplo en cuestión de iniciativas ambientales para todas las ciudades del país, es decir, se puede comenzar con un proyecto piloto que sirva como generador de datos reales, que no tome un enfoque solamente tecnológico sino también financiero y social, apuntando a reemplazar una parte significativa de la cantidad de combustible utilizado para este sector. La iniciativa va voluntariamente más allá de los estándares de control de emisiones que son obligatorios.

El diseño, instalación, puesta en marcha y mantenimiento de cada sistema de calentamiento solar de agua requiere de profesionistas especializados con el fin de garantizar su buen funcionamiento y un realce social de la tecnología, por lo que es posible apoyarse en algunas universidades y empresas nacionales que han desarrollado metodologías y experiencia en este ámbito, de forma que se requiere contactarlas para asegurar la disponibilidad de personal que conozca los detalles del proceso de dimensionamiento y construcción.

En cuanto al financiamiento que puede conseguirse para este tipo de proyectos, podría recurrirse a la Secretaría de Economía y al Banco Interamericano de Desarrollo, así como el soporte que brinda la Ley Para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética. Así mismo, se tomaría en cuenta la participación de organismos normativos, despachos fiscales y autoridades del Distrito Federal y federales.

CONCLUSION

Se considera que las suposiciones y restricciones establecidas para este análisis son válidas y susceptibles de ser reales en escenarios de operación particulares, pero que sirven como referencia para las posibles situaciones que pueden presentarse en el cálculo del potencial del calentamiento solar de agua para el sector hotelero en el Distrito Federal.

Para este estudio se propusieron cuatro escenarios distintos, relacionados con la fracción de abastecimiento de energía térmica a partir de energía solar en el sector hotelero del Distrito Federal, que corresponden al 30, 50, 75 y 100% de los requerimientos energéticos al año; para ello se establecieron restricciones y proposiciones que permitieron cuantificar el potencial antes mencionado.

El análisis se hizo con base en datos del año 2008, momento en el cual la economía del país y del DF contaba con una dinámica de crecimiento aceptable, de tal forma que para el año 2011 podrían tenerse condiciones semejantes al año de cálculo. En el año 2009 las cifras económicas y sobre todo turísticas se salieron de tendencia por los fenómenos de crisis económica mundial y epidemia de influenza humana.

Como resultado del escenario #4, que representa el ahorro máximo de energía, se calcula que la demanda de agua caliente requerida por el sector hotelero turístico es de 3.38 millones de m³/año, lo que requiere de 680 TJ/año de energía térmica para calentarse, lo que equivale a 16,600 ton/año de diesel cuyas emisiones a la atmósfera se estiman (método nivel I del IPCC) en aproximadamente 48 mil toneladas equivalentes de dióxido de carbono al año. Tal cantidad de energía podría proveerse para cierta época del año, con al menos 173 mil metros cuadrados de calentadores solares de agua.

Tal cantidad de calentadores solares requieren una inversión estimada en \$762 millones de pesos con un tiempo simple de recuperación de la inversión de 4.5 años, bajo el supuesto de que sustituyen a diesel.

Como resultado del escenario #1, que representa el ahorro mínimo de energía ya que se basa en lo establecido en la NADF-008-AMBT-2005, se calcula que el 30% de la demanda de agua caliente del sector hotelero turístico es de aproximadamente 1 millón de m³/año, lo que requiere de 205 TJ/año de energía térmica para calentarse, lo que equivale a 5.4 millones de m³/año de gas natural cuyas emisiones a la atmósfera se estiman (método nivel I del IPCC) en aproximadamente 11 mil toneladas equivalentes de dióxido de carbono al año. Tal cantidad de energía podría proveerse para cierta época del año, con al menos 50 mil metros cuadrados de calentadores solares de agua.

Para este caso, la cantidad de calentadores solares requieren una inversión estimada en \$218 millones de pesos con un tiempo simple de recuperación de la inversión de 6.4 años, bajo el supuesto de que sustituyen a gas natural.

Es importante hacer notar que las toneladas equivalentes de dióxido de carbono que pueden llegar a mitigarse oscilan en un intervalo que va desde 11,400 hasta 48,000 aproximadamente. Valores que pueden resultar interesantes para integrarse en un proyecto tipo MDL programático.

Hace falta tomar en cuenta el factor de área disponible para instalación de CSA por habitación en los hoteles de la Ciudad de México, que de acuerdo con un cálculo preliminar es de 1.93 m²/habitación, esto como valor medio en un intervalo que va desde 0.63 a 5.04 m²/habitación. Este número se utilizaría en cada caso de estudio, es decir, que cada hotel deberá establecer si la superficie disponible en su techumbre es suficiente para la instalación de la cantidad de paneles de calentamiento solar de agua requeridos.

En cuanto al tiempo simple de recuperación de la inversión, se tiene un intervalo que va desde 4.3 hasta 6.6 años, valor que depende del tipo de combustible utilizado actualmente y que sería desplazado por la energía solar. En general, el intervalo calculado podrían considerarse como aceptable, pudiéndose refinar el cálculo tomando en cuenta las variables de tasas de interés, inflación y tasa de aumento de precio de combustible es muy probable que este tiempo pueda ser menor.

El comportamiento lineal de los valores de consumo de combustible es una aproximación aceptable; ya que entre más grandes sean los equipos, tanto de calentamiento solar como de combustión, la eficiencia térmica tiende a aumentar. En ese sentido se observa que la tecnología de caloriducto es la ofrece elementos más competitivos.

En general, los valores de las variables analizadas son atractivos para iniciar una segunda etapa del proyecto, en el que se tomen en cuenta los actores del sector hotelero que podrían interesarse en la instalación de CSA, así como los actores encargados de financiar proyectos de este tipo.

Referencias bibliográficas

Estrada-Cajigal Ramírez, V. y Almanza Salgado, R. Irradiaciones global, directa y difusa, en superficies horizontales e inclinadas, así como irradiación directa normal, en la República Mexicana. Serie de Investigación y Desarrollo del Instituto de Ingeniería, UNAM. SID-646, 2005. (Incluye software RAD-II).

2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2: Energy. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006. ISBN 4-88788-032-4

Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-008-AMBT-2005 que establece las especificaciones técnicas para el aprovechamiento de la energía solar en el calentamiento de agua en albercas, fosas de clavados, regaderas, lavamanos, usos de cocina, lavandería y tintorería.

Norma Oficial Mexicana NOM-012-ENER-1996. Eficiencia térmica de calderas de baja capacidad (7,5 a 100 kW). Especificaciones y método de prueba.

Perry, Robert H.; Green, Don W.; Maloney, James O. Perry's Chemical Engineers' Handbook. 7th edition. Chapter 27: Energy Resources, Conversion, and Utilization. 1997, McGraw-Hill.

Pilatowsky Figueroa, I. Metodología de diseño de instalaciones solares para el calentamiento de agua. Notas del III Curso-Taller de Tecnologías Solares. Centro de Investigación en Energía, UNAM. 2007.

Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal. Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2008-2012. 2008, México.

Secretaría de Energía. Prospectiva del Mercado de Gas LP 2008-2017. 2008, México.

Secretaría de Energía. Prospectiva del Mercado de Gas Natural 2008-2017. 2008, México.

Verma, Mahendra P. Steam tables for pure water as an ActiveX component in Visual Basic 6.0. Computers & Geosciences. Elsevier. Volume 29, Issue 9, November 2003, Pages 1155-1163. (Incluye macro para MS Excel™).

Referencias en páginas web

Base de datos Secretaría de Turismo Data Tur: <http://datatur.sectur.gob.mx/>

Software de localización geográfica: Google Earth™ (versión libre)

Observatorio meteorológico del Colegio de Geografía, UNAM:
<http://www.observatoriometeorologicounam.com/normales.htm>

Comunicación escrita con la Secretaría de Turismo Federal

ANNEXES

ANEXO I: DATOS DEL SECTOR HOTELERO DESAGREGADOS POR CATEGORÍA EN 2009. (HOTELES TURÍSTICOS)

En este anexo se presentan datos extra diferenciados por categoría de hotel correspondientes a los años 2007, 2008 y 2009, que para el último año son de carácter preliminar (tabla A). Al verificar la tendencia que éstos tienen, se puede observar que para el año 2009 no se tiene un comportamiento típico debido a las circunstancias que en él acontecieron. La fuente de estos datos es la Secretaría de Turismo, por comunicación directa con el contacto oficial del sistema Data Tur.

Tabla A: Datos promedio diferenciados por categoría de hotel.

Variable	Año	5 Estrellas	4 Estrellas	3 Estrellas	2 Estrellas	1 Estrella
Cuartos Disponibles [#]	2007	14,270	9,550	10,051	6,535	5,546
	2008	14,282	9,478	10,161	6,535	5,546
	2009	14,336	9,535	10,161	6,521	5,504
Porcentaje de Ocupación [%]	2007	61.40	58.93	49.90	58.66	47.90
	2008	61.38	60.24	49.46	60.05	42.98
	2009	48.05	49.11	39.66	52.50	37.17
Estadía [noches/huesped]	2007	2.14	2.04	2.08	1.64	1.45
	2008	2.26	1.97	2.15	1.53	1.36
	2009	2.32	2.02	1.96	1.41	1.23
Densidad [huéspedes/cuarto]	2007	2.09	2.37	2.19	2.13	1.63
	2008	2.24	2.53	2.30	2.15	1.60
	2009	2.32	2.64	2.16	2.12	1.52

Las gráficas de las figuras A, B, C y D muestran de forma diferenciada los datos por categorías que la tabla A establece.

Figura A: gráfica de cuartos disponibles promedio diferenciados por categoría de hotel.

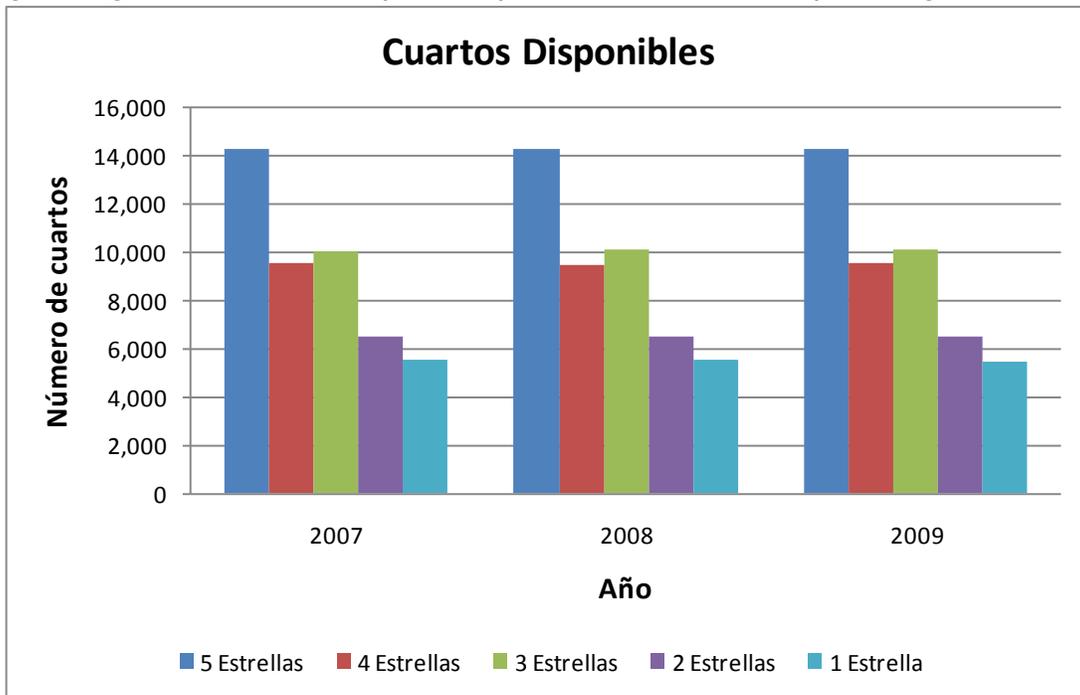


Figura B: gráfica del porcentaje promedio de ocupación de los cuartos disponibles diferenciados por categoría de hotel.

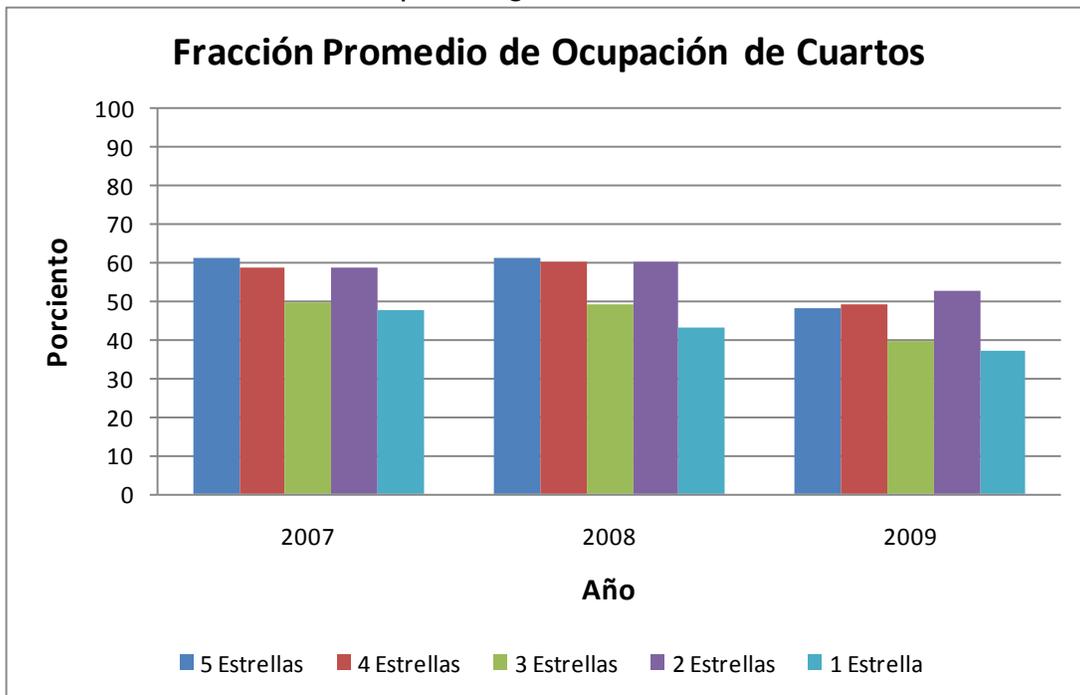


Figura C: gráfica de la densidad de ocupación de los cuartos disponibles diferenciados por categoría de hotel.

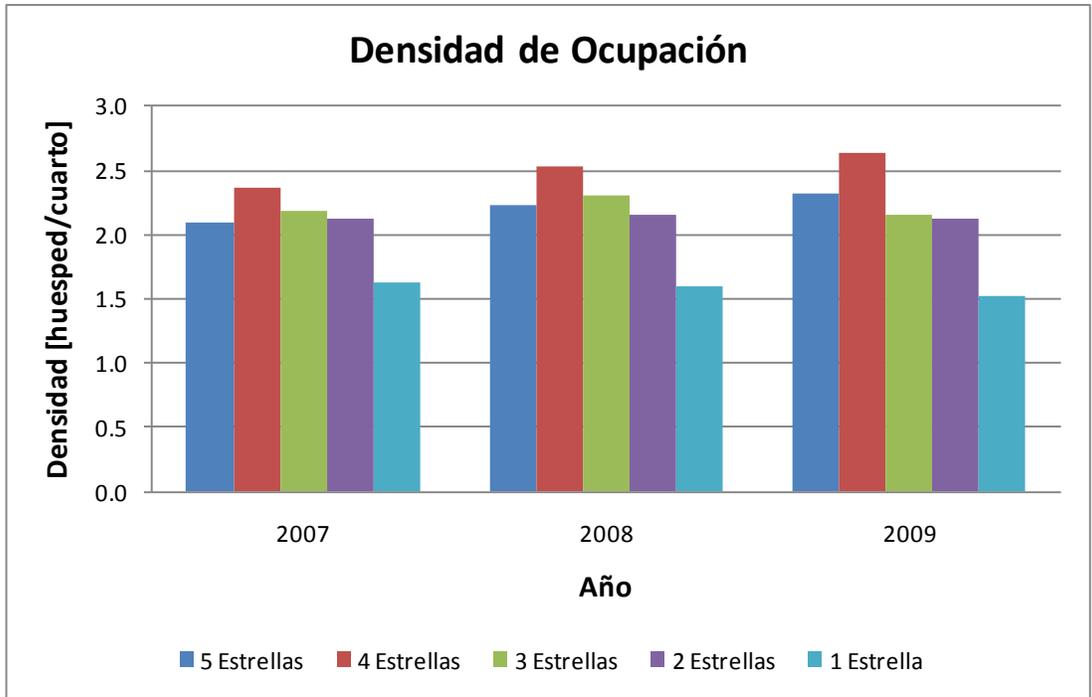
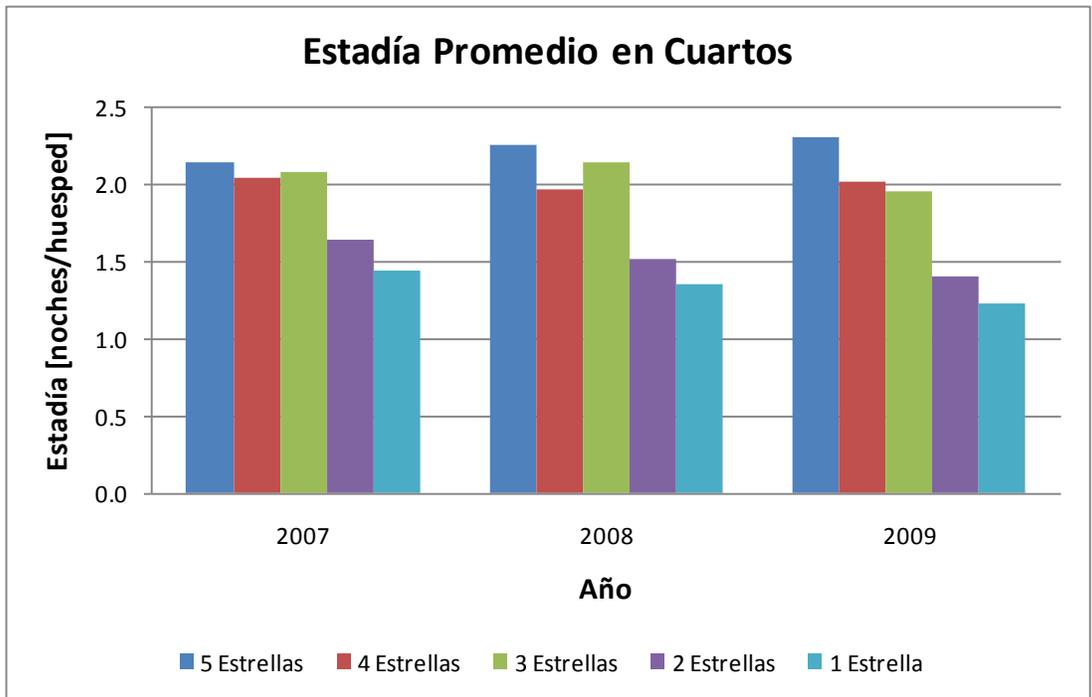


Figura D: gráfica de estadía promedio en cuartos disponibles diferenciados por categoría de hotel.



ANEXO II: DATOS METEOROLÓGICOS REGISTRADOS Y CALCULADOS DEL DISTRITO FEDERAL.

Temperatura diaria promedio mensual en el Distrito Federal en el año 2008.

Mes	Temperatura 2008 [°C]		
	Máxima	Media	Mínima
Enero	21.7	14.5	7.3
Febrero	24.0	16.6	9.2
Marzo	24.4	17.2	10.1
Abril	26.9	19.8	12.8
Mayo	26.5	19.8	13.1
Junio	24.2	18.4	12.6
Julio	22.5	17.2	11.9
Agosto	24.3	18.5	12.7
Septiembre	22.5	17.7	13.0
Octubre	22.2	16.4	10.5
Noviembre	22.0	14.7	7.5
Diciembre	22.0	14.6	7.4
Promedio	23.6	17.1	10.7
Valor min	21.7	14.5	7.3
Valor max	26.9	19.8	13.1

Temperatura media diaria promedio mensual para varios años en el Distrito Federal

Mes	2005 [°C]	2006 [°C]	2007 [°C]	2008 [°C]	2009 [°C]
Enero	12.9	14.2	15.3	14.5	14.3
Febrero	14.8	16.7	16.0	16.6	15.7
Marzo	16.7	17.6	17.6	17.2	17.6
Abril	18.8	19.7	18.9	19.8	19.8
Mayo	18.2	18.9	19.4	19.8	20.1
Junio	18.6	18.4	19.6	18.4	19.8
Julio	17.1	18.2	18.6	17.2	18.5
Agosto	16.5	18.2	18.5	18.5	19.3
Septiembre	16.3	18.6	17.1	17.7	18.3
Octubre	15.5	18.0	16.2	16.4	18.4
Noviembre	14.1	14.7	15.3	14.7	15.6
Diciembre	14.1	13.9	15.3	14.6	15.4
Promedio	16.1	17.3	17.3	17.1	17.7
Valor min	12.9	13.9	15.3	14.5	14.3
Valor max	18.8	19.7	19.6	19.8	20.1

Humedad Relativa diaria promedio mensual para varios años en el Distrito Federal

Mes	2005	2006	2007	2008	2009
-----	------	------	------	------	------

	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Enero	57.9	49.4	60.7	55.0	64.2
Febrero	53.7	44.9	53.2	49.3	64.4
Marzo	41.0	45.5	52.1	40.7	56.0
Abril	50.4	45.4	53.8	46.0	49.0
Mayo	50.6	56.6	55.2	48.1	62.6
Junio	57.5	62.3	62.7	60.3	67.1
Julio	64.6	70.6	78.2	64.6	72.1
Agosto	68.4	74.6	74.2	64.6	75.0
Septiembre	63.9	70.6	77.0	68.7	79.9
Octubre	64.6	71.2	65.8	55.9	72.5
Noviembre	57.5	65.9	63.8	54.3	67.8
Diciembre	53.6	61.3	71.2	49.1	72.6
Promedio	57.0	59.9	64.0	54.7	66.9
Valor min	41.0	44.9	52.1	40.7	49.0
Valor max	68.4	74.6	78.2	68.7	79.9

El cálculo de la humedad relativa se desarrolló a partir del método descrito en la referencia: <http://www.aprweather.com/pages/calc.htm>. A continuación se expone el código utilizado en las celdas de Excel.

- 1) $T_{dc} = ((T_c - (14.55 + 0.114 * T_c) * (1 - (0.01 * RH))) - ((2.5 + 0.007 * T_c) * (1 - (0.01 * RH)))) ^ 3 - (15.9 + 0.117 * T_c) * (1 - (0.01 * RH)) ^ 14)$
- 2) $E = (6.11 * 10 ^ (7.5 * T_{dc} / (237.7 + T_{dc})))$
- 3) $WB_c = (((0.00066 * P) * T_c) + ((4098 * E) / ((T_{dc} + 237.7) ^ 2) * T_{dc})) / ((0.00066 * P) + (4098 * E) / ((T_{dc} + 237.7) ^ 2))$

Donde: Tc = Temperatura en °C
 RH = Humedad Relativa (expresada en %)
 P = Presión en mbar

Temperatura de bulbo húmedo diaria promedio mensual calculada para el Distrito Federal.

Mes	2005 [°C]	2006 [°C]	2007 [°C]	2008 [°C]	2009 [°C]
Enero	8.5	8.7	10.9	9.6	10.4
Febrero	9.7	10.2	10.6	10.6	11.7
Marzo	9.7	11.0	11.8	10.1	12.3
Abril	12.6	12.6	13.1	12.8	13.2
Mayo	12.1	13.5	13.7	13.1	15.3

Junio	13.3	13.8	14.9	13.5	15.7
Julio	13.0	14.7	16.0	13.0	15.1
Agosto	12.9	15.2	15.4	14.2	16.3
Septiembre	12.2	15.1	14.5	14.0	15.9
Octubre	11.5	14.6	12.3	11.3	15.1
Noviembre	9.5	11.0	11.3	9.7	12.0
Diciembre	9.1	9.8	12.1	9.0	12.4
Promedio	11.2	12.5	13.0	11.7	13.8
Valor min	8.5	8.7	10.6	9.0	10.4
Valor max	13.3	15.2	16.0	14.2	16.3

ANEXO III: ÁREA REQUERIDA DE CSA Y CANTIDAD DE COMBUSTIBLE SUSTITUIDO POR ESCENARIO DE PARTICIPACIÓN SOLAR

Superficie de CSA para satisfacer 30% de la energía térmica requerida.

Mes	Cantidad de agua caliente requerida [m ³ /mes]	Cantidad de energía requerida [MJ/mes]	Área nominal requerida [m ²]
Enero	79,952	16,909,642	56,252
Febrero	77,770	16,091,160	53,897
Marzo	80,721	16,889,287	49,574
Abril	83,696	16,553,379	53,096
Mayo	78,030	15,335,869	50,125
Junio	72,193	14,041,596	52,248
Julio	78,111	15,356,359	56,491
Agosto	103,123	19,769,350	71,040
Septiembre	93,820	18,064,345	66,120
Octubre	90,022	18,379,195	65,953
Noviembre	87,192	18,406,742	67,193
Diciembre	89,714	19,194,618	73,434
	1,014,343	204,991,542	49,574
	Total Anual [MJ/año]		Área mínima

Superficie de CSA para satisfacer 50% de la energía térmica requerida.

Mes	Cantidad de agua caliente requerida [m ³ /mes]	Cantidad de energía requerida [MJ/mes]	Área nominal requerida [m ²]
Enero	133,253	28,182,737	94,583
Febrero	129,616	26,818,601	90,623
Marzo	134,534	28,148,812	83,355
Abril	139,494	27,588,964	89,276
Mayo	130,050	25,559,782	84,280
Junio	120,322	23,402,659	87,850
Julio	130,186	25,593,932	94,985
Agosto	171,871	32,948,916	119,448
Septiembre	156,366	30,107,242	111,175
Octubre	150,037	30,631,992	110,894
Noviembre	145,320	30,677,903	112,980
Diciembre	149,523	31,991,030	123,474
	1,690,572	341,652,571	83,355
	Total Anual [MJ/año]		Área mínima

Superficie de CSA para satisfacer 75% de la energía térmica requerida.

Mes	Cantidad de agua caliente requerida [m ³ /mes]	Cantidad de energía requerida [MJ/mes]	Área nominal requerida [m ²]
Enero	199,880	42,274,106	144,431
Febrero	194,424	40,227,901	138,384
Marzo	201,802	42,223,218	127,285
Abril	209,241	41,383,447	136,326
Mayo	195,075	38,339,672	128,698
Junio	180,483	35,103,989	134,150
Julio	195,279	38,390,898	145,045
Agosto	257,806	49,423,374	182,401
Septiembre	234,549	45,160,862	169,767
Octubre	225,056	45,947,989	169,338
Noviembre	217,980	46,016,854	172,523
Diciembre	224,284	47,986,545	188,548
	2,535,858	512,478,856	127,285
	Total Anual [MJ/año]		Área mínima

Superficie de CSA para satisfacer 100% de la energía térmica requerida.

Mes	Cantidad de agua caliente requerida [m ³ /mes]	Cantidad de energía requerida [MJ/mes]	Área nominal requerida [m ²]
Enero	266,506	56,365,475	196,108
Febrero	259,232	53,637,201	187,898
Marzo	269,069	56,297,624	172,828
Abril	278,988	55,177,929	185,104
Mayo	260,100	51,119,563	174,746
Junio	240,644	46,805,319	182,149
Julio	260,372	51,187,863	196,942
Agosto	343,742	65,897,832	247,664
Septiembre	312,732	60,214,483	230,509
Octubre	300,074	61,263,985	229,926
Noviembre	290,641	61,355,806	234,252
Diciembre	299,045	63,982,061	256,010
	3,381,145	683,305,141	172,828
	Total Anual [MJ/año]		Área mínima

ANEXO IV: EMISIONES DE GEIS CALCULADAS CON EL MÉTODO NIVEL I DEL IPCC

Emisiones de dióxido de carbono por cada tipo de combustible

Escenario	GN [Ton _{CO2} /año]	GLP [Ton _{CO2} /año]	Diesel [Ton _{CO2} /año]	Combustóleo [Ton _{CO2} /año]
1	11,407	12,831	14,314	14,951
2	19,012	21,384	23,857	24,919
3	28,518	32,076	35,785	37,379
4	38,024	42,769	47,713	49,838

Emisiones de metano por cada tipo de combustible

Escenario	GN [Ton _{CH4} /año]	GLP [Ton _{CH4} /año]	Diesel [Ton _{CH4} /año]	Combustóleo [Ton _{CH4} /año]
1	1.017	1.017	1.932	1.932
2	1.694	1.694	3.220	3.220
3	2.542	2.542	4.829	4.829
4	3.389	3.389	6.439	6.439

Emisiones de óxido nitroso por cada tipo de combustible

Escenario	GN [Ton _{N2O} /año]	GLP [Ton _{N2O} /año]	Diesel [Ton _{N2O} /año]	Combustóleo [Ton _{N2O} /año]
1	0.020	0.020	0.116	0.116
2	0.034	0.034	0.193	0.193
3	0.051	0.051	0.290	0.290
4	0.068	0.068	0.386	0.386